

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicants: Masaharu Doi : Attorney Docket No. 19546.0055

Application No.: TBD : Group Art Unit: TBD

Filed: March 12, 2004 : Examiner: TBD

For: AN OPTICAL MODULATOR WITH AN IMPEDANCE MATCHING REGION

CLAIM FOR PRIORITY

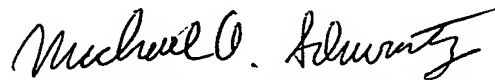
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450

Sir:

A certified copy of corresponding Japanese Application No. 2003-198553, filed July 17, 2003 is attached. It is requested that the right of priority provided by 35 U.S.C. 119 be extended by the U.S. Patent and Trademark Office.

Respectfully submitted,

Date: March 12, 2004



Michael A. Schwartz, Reg. No. 40,161
Swidler Berlin Shereff Friedman, LLP
3000 K Street, NW, Suite 300
Washington, DC 20007-5116
Telephone: (202) 424-7500
Facsimile: (202) 295-8478

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 7月17日
Date of Application:

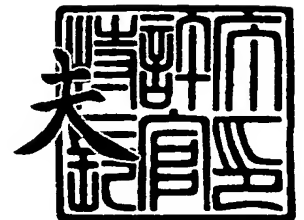
出願番号 特願2003-198553
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP 2003-198553]

出願人 富士通株式会社
Applicant(s):

2003年12月22日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井 康



出証番号 出証特2003-3106276

【書類名】 特許願

【整理番号】 0351983

【提出日】 平成15年 7月17日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02F 1/035

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内

【氏名】 土居 正治

【特許出願人】

【識別番号】 000005223

【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

【識別番号】 100108187

【弁理士】

【氏名又は名称】 横山 淳一

【電話番号】 044-754-3035

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011280

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0017694

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書**【発明の名称】 光変調器****【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

電気光学効果を有する基板と、
前記基板上に形成された光導波路および接地電極と、
前記基板上に形成され、外部より印加された電気信号を入力する第 1 領域と、
前記印加された電気信号による前記接地電極との間の電界により前記光導波路を
伝搬する光を制御する第 2 領域と、前記第 1 領域と前記第 2 領域の中間に設けら
れ、前記電気信号が反射せずに前記第 2 領域に伝搬する特性を持つ第 3 領域を有
する進行波電極とを備えた光変調器。

【請求項 2】

電気光学効果を有する基板と、
前記基板上に形成された光導波路および接地電極と、
前記基板上に形成され、外部より印加された電気信号を入力する第 1 領域と、
前記印加された電気信号による前記接地電極との間の電界により前記光導波路を
伝搬する光を制御する第 2 領域と、前記第 1 領域と前記第 2 領域の中間に設けら
れた第 3 領域を有する進行波電極とを備え、
前記第 3 領域の前記電気信号に対するインピーダンスは、前記第 1 領域の前記
電気信号に対するインピーダンスと、前記第 2 領域の前記電気信号に対するイン
ピーダンスとの中間の値となることを特徴とする光変調器。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 記載の光変調器であって、前記進行波電極の第 3 領域
は、前記電気信号の信号成分の位相を $\pi/2$ シフトさせる長さであることを特徴
とする光変調器。

【請求項 4】

請求項 1 ないし請求項 3 記載の光変調器であって、前記進行波電極の第 3 領域のインピーダンスは、前記進行波電極の第 1 領域のインピーダンスと、前記進行波電極の第 2 領域のインピーダンスの相乗平均であることを特徴とする光変調器。

【請求項 5】

請求項 1 ないし請求項 4 記載の光変調器であって、
前記第 3 領域における前記進行波電極と前記接地電極の間隔は、前記第 2 領域における前記進行波電極と前記接地電極の間隔よりも広いことを特徴とする光変調器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は光通信で用いられる光変調器に関する。

【0002】

【従来の技術】

光伝送システムでは、伝送容量を増加させるために、複数の異なる波長の信号光を多重化して通信する波長多重（WDM；Wavelength Division Multiplexing）通信が広く行われている。光伝送システムでは、光を信号により変調した信号光を伝送することにより信号が伝送されるので、WDM通信の波長多重度を増加させたり、変調のビットレートを増加させたりすることにより、伝送容量が増加する。

【0003】

光源から出力された光を、入力された信号により変調し出力する外部変調器として、電気光学効果を有する基板に光導波路を形成した、マッハツェンダ型光変調器が知られている。（例えば特許文献 1）。

【0004】

図 6（a）～（d）は電気光学効果を有する基板に形成されたマッハツェンダ型光変調器の構成図および断面図である。

【0005】

図6 (a) (c) に示されるマッハツェンダ変調器は、電気光学効果を有する基板10Aの上に、光導波路と電極が形成された構造であり、光導波路を伝搬する光が電極による電界と相互作用することにより、入力光は変調されて出力する。基板10Aとしては、電気光学効果を有するニオブ酸リチウム (LiNbO_3 ; LN) や LiTaO_3 が用いられるが、電界、光の偏光方向はともにZ方向の時に、電気光学効果が最も大きくあらわれる為、基板の切断方向により信号電極と光導波路の位置は異なる。

【0006】

図6 (a) はXカットのLN基板10Aを用いたマッハツェンダ型光変調器であり、図6 (b) は図6 (a) の a-a' における断面図である。

【0007】

導波路30Aおよび30B、Y分岐導波路32Aおよび32B、平行導波路31Aおよび31Bは、基板10Aに形成された光導波路であり、例えば、Ti膜を形成し、導波路の形状にパターニングした状態で熱拡散させる、または、マスク材をパターニング後に安息香酸中でプロトン交換することにより形成される。

【0008】

信号電極21Aと、接地電極22Aおよび22Bは、基板10Aの上に形成されたバッファ層11Aの上に形成され、例えば金 (Au) の電極が用いられる。平行導波路31Aおよび31Bを伝搬する光が、Z方向の電界と相互作用するように、XカットのLN基板10Aを用いたマッハツェンダ型光変調器では、信号電極21Aと接地電極22Aおよび22Bが平行導波路31Aおよび31Bを挟んだ形状に形成される。

【0009】

光変調器2Aに入力された光は、光導波路30Aを伝搬し、Y分岐導波路32Aにより平行導波路31Aおよび31Bに分岐する。信号電極21Aは、抵抗4により終端された進行波電極となっており、信号源3より数十GHzまでの高周波 (RF; Radio Frequency) 信号が印加される。

【0010】

信号電極 2 1 A に印加された RF 信号により、信号電極 2 1 A と接地電極 2 2 A および 2 2 B との間に、図 6 (b) に点線矢印で示される電界が発生する。信号電極と接地電極で平行導波路 3 1 A および 3 1 B を挟んだ形状であるので、平行導波路 3 1 A にかかる電界と平行導波路 3 1 B にかかる電界の方向は逆であり、平行導波路 3 1 A および 3 1 B の屈折率がそれぞれ $+\Delta n$ 、 $-\Delta n$ のように変化する。

【0011】

これにより、平行導波路 3 1 A と平行導波路 3 1 B の屈折率が異なるので、平行導波路 3 1 A と平行導波路 3 1 B を伝搬してきた光の間に位相差が生じ、Y 分岐導波路 3 2 B により合波された光は、光導波路 3 0 B より出力される。その出力は位相差により変化する。位相差が π の奇数倍の時には、光が打ち消しあって出力が零となり、位相差が π の偶数倍の時には、光出力が最大となる。

【0012】

以上が X カット基板に形成されたマッハツェンダ型光変調器であり、これは Y カットについても同様である。

【0013】

一方、図 6 (c) は Z カットの LN 基板 1 0 A を用いたマッハツェンダ型光変調器であり、図 6 (d) は図 6 (c) の b-b' における断面図である。

【0014】

図 6 (a) と同様に、図 6 (c) の光変調器は、導波路 3 0 A および 3 0 B、Y 分岐導波路 3 2 A および 3 2 B、平行導波路 3 1 A および 3 1 B は、基板 1 0 A に形成され、信号電極 2 1 A と、接地電極 2 2 A および 2 2 B は、バッファ層 1 1 A の上に形成される。

【0015】

図 6 (d) に示されるように、Z カットの基板に形成されたマッハツェンダ型光変調器では、電気光学効果が最も効率よくかかる電界の Z 方向が X カットとは異なるので、平行導波路 3 1 A は信号電極 2 1 A の下に形成され、平行導波路 3 1 B は接地電極 2 2 B の下に形成される。バッファ層 1 1 A は、平行導波路 3 1 A および 3 1 B を伝搬する光が、信号電極 2 1 A および接地電極 2 2 B に吸収さ

れるのを防止する役割を果たす。

【0016】

【特許文献1】

特開 2002-182172 号公報

【0017】

【発明が解決しようとする課題】

図6に示されるマッハツェンダ型光変調器は、信号源3より印加されたRF信号により発生した電界により、入力光を変調し、出力するものである。

【0018】

マッハツェンダ型光変調器では、信号源3より数十GHzまでのRF信号を信号電極21Aに印加するので、信号源3の構成を簡素化し、変調器を小型化するためにも、RF信号の電圧（駆動電圧）を低電圧化することが求められている。特に、伝送容量の大きくするために高ビットレートである場合は、信号源3より印加されるRF信号の周波数が高周波になるので、低電圧化が重要になる。

【0019】

マッハツェンダ型光変調器の駆動電圧を低電圧化するためには、必要な電界強度が低い駆動電圧で得られるように、信号電極および接地電極と光導波路の位置関係を調整し、例えば、信号電極と接地電極との電極間隔を狭くする必要がある。

【0020】

駆動電圧を低電圧化すると、平行導波路と相互作用する信号電極のインピーダンス（以後、相互作用領域のインピーダンスと呼ぶ）は、 50Ω より低くなる。例えば、図4（b）は、信号電極と接地電極の電極間隔を変化させたときのインピーダンスの変化を、プロットしたものであるが、電極間隔を減少させ、必要な電界強度を得るための駆動電圧を低電圧化すると、インピーダンスは減少する。

【0021】

一方、信号源3より入力されるRF信号は、通常、インピーダンス 50Ω の同軸ケーブルやストリップラインにより入力されるので、マッハツェンダ型光変調器の信号電極の、RF信号を外部より入力する部分（以後、入力領域のインピーダン

スと呼ぶ) は、50Ωとする必要がある。

【0022】

したがって、駆動電圧を低電圧化することにより、入力領域のインピーダンスと相互作用領域のインピーダンスが異なり、インピーダンス不整合による反射が生じる。入力領域のインピーダンスを Z_1 、相互作用領域のインピーダンスを Z_2 とすると、反射係数 ρ は、

【0023】

【数1】

$$\rho = \frac{Z_i - Z_o}{Z_i + Z_o}$$

であるので、入力領域のインピーダンス Z_1 と相互作用領域のインピーダンス Z_2 が異なると、信号電極に印加された信号の一部は反射し、相互作用領域の信号電極に伝搬されるRF信号の強度が減少し、光変調器の特性に悪影響を与える。

【0024】

図7は、入力領域のインピーダンスと相互作用領域のインピーダンスが異なる状態での反射量を、入力RF信号周波数に対して測定したものである。数GHz周期に反射量が増減しているのは、光変調器の各部分の反射によるものであり、点線で示される包絡線により最大反射量の特性が判断される。例えば、10Gbpsの変調を行うためには、10GHz程度までの周波数のRF信号が変調器に入力されるが、周波数10GHz付近のRF信号の反射量は、-14dB程度となってしまう。

【0025】

また、駆動電圧を低電圧化するために、信号電極および接地電極と光導波路の位置関係を調整する際には、変調器の変調帯域を所望の周波数以上とする為に、平行導波路を伝搬する光の速度と、相互作用領域におけるRF信号の伝搬速度との速度整合がとれるようにする必要がある。

【0026】

【課題を解決するための手段】

本発明は上記課題を解決するものであって、第1の発明による光変調器は、電気光学効果を有する基板と、前記基板上に形成された光導波路および接地電極と

、前記基板上に形成され、外部より印加された電気信号を入力する第1領域と、前記印加された電気信号による前記接地電極との間の電界により前記光導波路を伝搬する光を制御する第2領域と、前記第1領域と前記第2領域の間に設けられ、前記電気信号が反射せずに前記第2領域に伝搬する特性を持つ第3領域を有する進行波電極とを備える。

【0027】

これにより、例えば、駆動電圧の低電圧化した場合等で、光導波路と電極の配置により第2領域のインピーダンスが第1領域のインピーダンスよりも低い場合でも、インピーダンス不整合による反射を防止または減少することができ、光導波路を伝搬する光を効率よく制御することができる。

【0028】

第2の発明による光変調器は、電気光学効果を有する基板と、前記基板上に形成された光導波路および接地電極と、前記基板上に形成され、外部より印加された電気信号を入力する第1領域と、前記印加された電気信号による前記接地電極との間の電界により前記光導波路を伝搬する光を制御する第2領域と、前記第1領域と前記第2領域の間に設けられた第3領域を有する進行波電極とを備え、前記第3領域の前記電気信号に対するインピーダンスは、前記第1領域の前記電気信号に対するインピーダンスと、前記第2領域の前記電気信号に対するインピーダンスとの中間の値となることを特徴とする。

【0029】

第3の発明による光変調器は、第1または第2の発明による光変調器であって、前記進行波電極の第3領域は、前記電気信号の信号成分の位相を $\pi/2$ シフトさせる長さであることを特徴とする。

【0030】

第4の発明による光変調器は、第1ないし第3の発明による光変調器であって、前記進行波電極の第3領域のインピーダンスは、前記進行波電極の第1領域のインピーダンスと、前記進行波電極の第2領域のインピーダンスの相乗平均であることを特徴とする。

【0031】

第5の発明による光変調器は、第1ないし第4の発明による光変調器であって、前記第3領域における前記進行波電極と前記接地電極の間隔は、前記第2領域における前記進行波電極と前記接地電極の間隔よりも広いことを特徴とする。

【0032】

【実施例】

以下、図面を参照しながら本発明の実施例について説明する。

【0033】

図1(a)は、本発明の第1の実施例によるマッハツェンダ型光変調器であり、図1(b)(c)はそれぞれb-b'、c-c'における断面図である。

【0034】

図1に示されるマッハツェンダ変調器1Aは、電気光学効果を有するZカットの基板10Aの上に、光導波路と電極が形成された構造であり、光導波路を伝搬する光が電極による電界と相互作用することにより、入力光は変調されて出力する。基板10Aとしては、電気光学効果を有するニオブ酸リチウム(LiNbO₃; LN; Lithium Niobate)やLiTaO₃が用いられる。

【0035】

導波路30Aおよび30B、Y分岐導波路32Aおよび32B、平行導波路31Aおよび31Bは、基板10Aに形成された光導波路であり、例えば、Ti膜を形成し、導波路の形状にパターニングした状態で熱拡散させる、または、マスク材のパターニング後に安息香酸中でプロトン交換することにより形成される。

【0036】

バッファ層11Aは基板10Aより屈折率が小さく、かつ、光の吸収が少ないものであり、SiO₂、MgF₂、Al₂O₃などにより、スパッタ法、CVD法、蒸着法、スピンコーティング法等により形成される。

【0037】

信号電極21Aと、接地電極22Aおよび22Bは、基板10Aの上に形成されたバッファ層11Aの上に形成され、例えば金(Au)の電極が用いられる。

【0038】

接地電極22Aおよび22Bは接地されており、また、信号電極21Aは、図

1 (a) の光導波路 3 0 B に近い図面右側の接点より、図示しない抵抗で終端された進行波電極となっており、図 1 (a) の光導波路 3 0 A に近い図面左側の接点より高周波 (RF ; Radio Frequency) 信号が印加される。

【 0 0 3 9 】

信号電極 2 1 A に印加された RF 信号により、信号電極 2 1 A と接地電極 2 2 A および 2 2 B との間に、図 6 (d) に点線矢印で示されるように電界が発生し、平行導波路 3 1 A および 3 1 B の屈折率がそれぞれ $+\Delta n$ 、 $-\Delta n$ のように変化する。

【 0 0 4 0 】

これにより、平行導波路 3 1 A と平行導波路 3 1 B の屈折率が異なるので、Y 分岐導波路 3 2 B により合波された光は、図示しない信号源より印加された RF 信号により変調された状態となり、導波路 3 0 B より出力する。

【 0 0 4 1 】

信号電極および接地電極は、その形状・配置とインピーダンスにより、それぞれ第 1 ないし第 3 領域に対応する、入力領域 5 A、インピーダンス調整領域 5 B、相互作用領域 5 C に区分される。

【 0 0 4 2 】

入力領域 5 A において、信号電極 2 1 A の幅は、図示しない信号源より同軸ケーブル等により入力するために基板端面で太くなっており、図 1 (a) に示されるように、基板内部に進むにつれて、テーパ状に細くなる。入力領域 5 A のインピーダンスは $50\ \Omega$ であり、図示しない信号源の出力インピーダンスと整合させている。入力領域 5 A のインピーダンスは $50\ \Omega$ であるので、信号電極 2 1 A の電極幅がテーパ状に細くなるのに伴い、信号電極 2 1 A と接地電極 2 2 A および 2 2 B との間隔も狭くなる。

【 0 0 4 3 】

相互作用領域 5 C においては、図 1 (c) に示されるように、信号電極 2 1 A と接地電極 2 2 A および 2 2 B との間の電界により、平行導波路 3 1 A および 3 1 B の屈折率が変化されるので、Y 分岐導波路 3 2 B により合波され、光導波路 3 0 B を伝搬する出力光は変調された信号光となる。

【0044】

第1の実施例では、Zカットの基板10Aの上に形成された信号電極21Aと接地電極22Aおよび22Bが、入力領域5Aと相互作用領域5Cの間に、インピーダンス調整領域5Bを備えることを特徴とする。

【0045】

ここで、インピーダンス整合について図3を参照して説明する。

【0046】

信号電極21Aと接地電極22Aおよび22Bによるインピーダンスの異なる3領域は、入力領域のインピーダンスを Z_1 、相互作用領域のインピーダンスを Z_2 、インピーダンス調整領域のインピーダンスを Z_0 、長さを l とすると、図3(a)のように分布定数回路が接続されている状態と考えられる。

【0047】

インピーダンス調整領域を二端子対網とみて、図3(b)のように電圧および電流をとると、伝搬定数を γ を用いて、

【0048】

【数2】

$$V_1 = V_2 \cosh \gamma l + I_2 \sinh \gamma l$$

$$I_1 = \frac{V_2}{Z_0} \sinh \gamma l + I_2 \cosh \gamma l$$

となる。

【0049】

端子対1-1'で左右を見たインピーダンス(V_1 / I_1)が Z_1 であり、端子対2-2'で左右を見たインピーダンス(V_2 / I_2)が Z_2 であるという条件で、[数2]式を解くと、

【0050】

【数3】

$$\cosh \gamma l = \cosh j\beta l = 0$$

となる。ここで、位相定数 β は

【0051】

【数 4】

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$$

の関係を満たし、 γ の虚部でもある。[数 3][数 4]より、

【0052】

【数 5】

$$l = \left(\frac{1}{4} + \frac{n}{2} \right) \lambda \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

$$Z_o = \sqrt{Z_1 \cdot Z_2}$$

となる。すなわち、

1) インピーダンス調整領域のインピーダンスが、入力領域のインピーダンスと相互作用領域のインピーダンスの相乗平均となり、

2) インピーダンス調整領域の長さが、信号電極に印加される高周波信号の位相を $\pi/2$ (1/4波長分) 変化させる長さであるとき、入力領域よりインピーダンス調整領域を通じて相互作用領域に高周波信号を伝達する過程で反射が生じることがなく、インピーダンス調整領域を設けない場合に較べて、高周波信号の伝達を効率的に行うことができる。

【0053】

図 1 において、入力領域 5 A と相互作用領域 5 C の間に設けられたインピーダンス調整領域 5 B のインピーダンスを上記条件に適合させ、インピーダンスの不整合による反射を防止または抑制することにより、信号電極 2 1 A と接地電極 2 2 A および 2 2 B と光導波路の位置関係を調整することにより駆動電圧を低減させた場合等の、相互作用領域のインピーダンス不整合による変調器特性の劣化を防止または低減することができる。

【0054】

図 7 は、入力領域のインピーダンスと相互作用領域のインピーダンスが異なる状態での反射量を、入力 RF 信号周波数に対して測定したグラフであった。入力領域と相互作用領域のインピーダンスが図 7 と同じで、入力領域と相互作用領域の間に 10GHz の RF 信号に対して上記 1) 2) の条件を満たすインピーダンス調整領

域を設けた場合の特性を図 2 に示す。

【0055】

図 7 と同様に、数GHz周期に反射量が増減しているのは、光変調器の各部分の反射によるものであり、点線で示される包絡線により最大反射量の特性が判断される。図 7 においては、周波数10GHz付近のRF信号の反射量は、-14dB程度であったのに対し、図 2 においては、インピーダンス調整領域を設け、10GHzのRF信号の反射を低減することにより、10GHz付近のRF信号の反射量は、-20dB以下にまで改善する。

【0056】

次に、インピーダンス調整領域におけるインピーダンスの調整方法について説明する。

【0057】

図 1 (b) (c) は、それぞれインピーダンス調整領域 (b-b') および相互作用領域 (c-c') における断面図である。インピーダンス調整領域および相互作用領域のバッファ層厚 d_2 および d_3 、信号電極厚 h_2 および h_3 、信号電極幅 W_2 および W_3 、電極間隔 Se_2 および Se_3 を異なる値とすることにより、インピーダンス調整領域を上記 1) 2) の条件を満たすものとし、反射を防止または低減することができる。

【0058】

例えば、図 1 (b) (c) に示されるように、インピーダンス調整領域における信号電極と接地電極の電極間隔 Se_2 を、相互作用領域における信号電極と接地電極の電極間隔 Se_3 より大きい値とすることにより、インピーダンス調整領域のインピーダンスを、入力領域のインピーダンスと、相互作用領域のインピーダンスの中間の値とすることができ、インピーダンス不整合による反射が低減される。

【0059】

図 4 (a) ~ (d) は、それぞれ、信号電極幅、信号電極と接地電極との電極間隔、バッファ層厚、電極厚を変化させたときのインピーダンス変化をプロットしたものである。

【0060】

インピーダンス調整領域においては、図4 (a) ~ (d) に示される関係を用いて、目的の周波数のRF信号のインピーダンスを調整することができる。また、相互作用領域においては、光導波路を伝搬する光の速度と電極を伝搬するRF信号の速度との速度整合を行うために、RF信号の屈折率を変化させた場合の場合や、駆動電圧を変化させた場合のインピーダンス変化を見積もることができる。

【0061】

RF信号の伝搬速度 v は、比誘電率 ϵ により

【0062】

【数6】

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon\epsilon_0}}$$

と表せるので、RF信号に対する屈折率 n は、

【0063】

【数7】

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\sqrt{\mu\epsilon\epsilon_0}}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = \sqrt{\epsilon}$$

と表せる。ただし、透磁率 μ は μ_0 に等しいと近似した。

【0064】

図4 (a) は電極間隔 $17(\mu\text{m})$ 、信号電極厚 $20(\mu\text{m})$ 、バッファ層厚 $1.0(\mu\text{m})$ の状態、信号電極幅を変化させたときのインピーダンス変化をプロットしたものであり、信号電極幅を広げるにより、インピーダンスは減少する。相互作用領域において信号電極幅を広げた場合、平行導波路に所定の電界を印加するのに必要な電極間電位差は減少するので、駆動電圧は低下する。また、RF信号に対する屈折率は、信号電極幅を広げるにより増加する。

【0065】

図4 (b) は信号電極幅 $11(\mu\text{m})$ 、信号電極厚 $20(\mu\text{m})$ 、バッファ層厚 $1.0(\mu\text{m})$ の状態、信号電極と接地電極との電極間隔を変化させたときのインピーダンス変化をプロットしたものであり、電極間隔を広げるにより、インピーダンス

は増加する。相互作用領域において信号電極と接地電極との電極間隔を広げた場合、平行導波路に所定の電界を印加するのに必要な電極間電位差は増加するので、駆動電圧は増加する。また、RF信号に対する屈折率は、電極間隔を広げることにより増加する。

【0066】

図4(c)は信号電極幅 $11(\mu\text{m})$ 、電極間隔 $19(\mu\text{m})$ 、信号電極厚 $20(\mu\text{m})$ の状態で、バッファ層厚を変化させたときのインピーダンス変化をプロットしたものであり、バッファ層厚を厚くすることにより、インピーダンスは増加する。相互作用領域においてバッファ層厚を厚くした場合、平行導波路に所定の電界を印加するのに必要な電極間電位差は増加するので、駆動電圧は増加する。また、RF信号に対する屈折率は、バッファ層厚を厚くすることにより減少する。なお、バッファ層厚を薄くすることにより駆動電圧は減少するが、第1の実施例はZカットであり、光導波路の上に信号電極または接地電極が位置するので、バッファ層厚を薄くしすぎると、電極による光吸収が無視できない量まで増加する。

【0067】

図4(d)は信号電極幅 $11(\mu\text{m})$ 、電極間隔 $19(\mu\text{m})$ 、バッファ層厚 $1.2(\mu\text{m})$ の状態で、信号電極の電極厚を変化させたときのインピーダンス変化をプロットしたものであり、電極厚を厚くすることにより、インピーダンスは減少する。相互作用領域において電極厚を厚くした場合、平行導波路に所定の電界を印加するのに必要な電極間電位差は変化しないので、駆動電圧は変化しない。また、RF信号に対する屈折率は、電極厚を厚くすることにより減少する。

【0068】

したがって、まず、相互作用領域において、上述した、信号電極幅、信号電極と接地電極の電極間隔、バッファ層厚、信号電極の電極厚を変化させることにより、光導波路を伝搬する光の速度と電極を伝搬するRF信号の速度との速度整合と、駆動電圧調整を変化させた場合のインピーダンス変化を見積もり、次に、入力領域のインピーダンスと、相互作用領域のインピーダンスから、目標の周波数のRF信号の反射を抑制または減少させるために、インピーダンス調整領域のインピーダンスを、上述した、信号電極幅、信号電極と接地電極の電極間隔、バッファ

層厚、信号電極の電極厚を変化させることにより調整させればよい。

【0069】

次に、本発明の第2実施例による光変調器について説明する。

【0070】

図5(a)は、本発明の第2の実施例によるマッハツェンダ型光変調器であり、図5(b)(c)はそれぞれb-b'、c-c'における断面図である。

【0071】

第2の実施例は、Xカットの電気光学効果を有する基板に形成されたマッハツェンダ型光変調器において、インピーダンス調整領域を設けた構成である。

【0072】

図5(a)に示される光変調器1Bにおいて、導波路30Aおよび30B、Y分岐導波路32Aおよび32B、平行導波路31Aおよび31Bは、基板10Aに形成された光導波路であり、例えば、Ti膜を形成し、導波路の形状にパターニングした状態で熱拡散させる、または、マスク材のパターニング後に安息香酸中でプロトン交換することにより形成される。

【0073】

バッファ層11Aは基板10Aより屈折率が小さく、かつ、光の吸収が少ないものであり、SiO₂、MgF₂、Al₂O₃などにより、スパッタ法、CVD法、蒸着法、スピンドーティング法等により形成される。

【0074】

信号電極21Aと、接地電極22Aおよび22Bは、基板10Aの上に形成されたバッファ層11Aの上に形成され、例えば金(Au)の電極が用いられる。

【0075】

平行導波路31Aおよび31Bを伝搬する光が、Z方向の電界と相互作用するように、第2の実施例によるマッハツェンダ型光変調器では、平行導波路31Aおよび31Bの存在しない領域に信号電極21Aと接地電極22Aおよび22Bが形成され、各電極で平行導波路31Aおよび31Bを挟んだ形状となっている。

【0076】

光変調器 1 B に入力された光は、光導波路 30 A を伝搬し、Y 分岐導波路 32 A により平行導波路 31 A および 31 B に分岐する。接地電極 22 A および 22 B は接地されており、また、信号電極 21 A は、図 2 (a) の光導波路 30 B に近い図面右側の接点より、図示しない抵抗で終端された進行波電極となっており、図 2 (a) の光導波路 30 A に近い図面左側の接点より RF 信号が印加される。

【0077】

信号電極 21 A に印加された RF 信号により、信号電極 21 A と接地電極 22 A および 22 B との間に、図 6 (b) に点線矢印で示されるように電界が発生し、平行導波路 31 A および 31 B の屈折率がそれぞれ $+\Delta n$ 、 $-\Delta n$ のように変化する。

【0078】

これにより、平行導波路 31 A と平行導波路 31 B の屈折率が異なるので、Y 分岐導波路 32 B により合波された光は、信号源 3 より印加された RF 信号により変調された状態となり、導波路 30 B より出力する。

【0079】

第 1 の実施例と同様に、第 2 の実施例による光変調器においても、信号電極および接地電極は、その形状・配置とインピーダンスにより、それぞれ第 1 ないし第 3 領域に対応する、入力領域 5 A、インピーダンス調整領域 5 B、相互作用領域 5 C に区分される。

【0080】

入力領域 5 A において、信号電極 21 A の幅は、図示しない信号源より同軸ケーブル等により入力するために基板端面で太くなっており、図 5 (a) に示されるように、基板内部に進むにつれて、テーパ状に細くなる。入力領域 5 A のインピーダンスは $50\ \Omega$ であり、図示しない信号源の出力インピーダンスと整合させている。入力領域 5 A のインピーダンスは $50\ \Omega$ であるので、信号電極 21 A の電極幅がテーパ状に細くなるのに伴い、信号電極 21 A と接地電極 22 A および 22 B との間隔も狭くなる。

【0081】

相互作用領域 5 C においては、図 5 (c) に示されるように、信号電極 21 A

と接地電極 22 A および 22 B との間の電界により、平行導波路 31 A および 31 B の屈折率が変化されるので、Y 分岐導波路 32 B により合波され、光導波路 30 B を伝搬する出力光は変調された信号光となる。

【0082】

第 1 の実施例と同様に、第 2 の実施例においては、X カットの基板 10 A の上に形成された信号電極 21 A と接地電極 22 A および 22 B が、入力領域 5 A と相互作用領域 5 C の間に、インピーダンス調整領域 5 B を備えることを特徴とし、[数 5] より、

- 1) インピーダンス調整領域のインピーダンスが、入力領域のインピーダンスと相互作用領域のインピーダンスの相乗平均となり、
- 2) インピーダンス調整領域の長さが、信号電極に印加される高周波信号の位相を $\pi/2$ (1/4 波長分) 変化させる長さであるとき、入力領域よりインピーダンス調整領域を通じて相互作用領域に高周波信号を伝達する過程で反射が生じることがなく、インピーダンス調整領域を設けない場合に較べて、高周波信号の伝達を効率的に行うことができる。

【0083】

図 5 において、入力領域 5 A と相互作用領域 5 C の間に設けられたインピーダンス調整領域 5 B のインピーダンスを上記条件に適合させ、インピーダンスの不整合による反射を防止または抑制することにより、信号電極 21 A と接地電極 22 A および 22 B と光導波路の位置関係を調整することにより駆動電圧を低減させた場合等の、相互作用領域のインピーダンス不整合による変調器特性の劣化を防止または低減することができる。

【0084】

図 5 (b) (c) は、それぞれインピーダンス調整領域 (b-b') および相互作用領域 (c-c') における断面図である。インピーダンス調整領域および相互作用領域のバッファ層厚 d_5 および d_6 、信号電極厚 h_5 および h_6 、信号電極幅 W_5 および W_6 、電極間隔 Se_5 および Se_6 を異なる値とすることにより、インピーダンス調整領域を上記 1) 2) の条件を満たすものとし、反射を防止または低減することができる。

【0085】

第2の実施例においても、第1の実施例と同様に、図4(a)～(d)に示される、信号電極幅、信号電極と接地電極との電極間隔、バッファ層厚、電極厚を変化させたときのインピーダンス変化を用いて、インピーダンス調整領域のインピーダンスを調整することにより、相互作用領域とのインピーダンス不整合による変調器特性の劣化を防止または低減することができる。

【0086】

本願は、以下の付記記載の発明を包含する。

(付記1)

電気光学効果を有する基板と、

前記基板上に形成された光導波路および接地電極と、

前記基板上に形成され、外部より印加された電気信号を入力する第1領域と、前記印加された電気信号による前記接地電極との間の電界により前記光導波路を伝搬する光を制御する第2領域と、前記第1領域と前記第2領域の間に設けられ、前記電気信号が反射せずに前記第2領域に伝搬する特性を持つ第3領域を有する進行波電極とを備えた光変調器。

(付記2) 電気光学効果を有する基板と、

前記基板上に形成された光導波路および接地電極と、

前記基板上に形成され、外部より印加された電気信号を入力する第1領域と、前記印加された電気信号による前記接地電極との間の電界により前記光導波路を伝搬する光を制御する第2領域と、前記第1領域と前記第2領域の間に設けられた第3領域を有する進行波電極とを備え、

前記第3領域の前記電気信号に対するインピーダンスは、前記第1領域の前記電気信号に対するインピーダンスと、前記第2領域の前記電気信号に対するインピーダンスとの中間の値となることを特徴とする光変調器。

(付記3) 付記1または付記2記載の光変調器であって、前記進行波電極の第3領域は、前記電気信号の信号成分の位相を $\pi/2$ シフトさせる長さであることを特徴とする光変調器。

(付記4) 付記1ないし付記3記載の光変調器であって、前記進行波電極の第

3 領域のインピーダンスは、前記進行波電極の第 1 領域のインピーダンスと、前記進行波電極の第 2 領域のインピーダンスの相乗平均であることを特徴とする光変調器。

(付記 5) 付記 1 ないし付記 4 記載の光変調器であって、

前記第 3 領域における前記進行波電極と前記接地電極の間隔は、前記第 2 領域における前記進行波電極と前記接地電極の間隔よりも広いことを特徴とする光変調器。

(付記 6) 付記 1 ないし付記 4 記載の光変調器であって、

前記第 2 領域における前記進行波電極の幅は、前記第 3 領域における前記進行波電極の幅よりも広いことを特徴とする光変調器。

(付記 7) 付記 1 ないし付記 4 記載の光変調器であって、

前記第 2 領域における前記進行波電極の厚さは、前記第 3 領域における前記進行波電極の厚さよりも厚いことを特徴とする光変調器。

【0087】

【発明の効果】

以上、説明したように、本発明による光変調器によれば、外部より印加された電気信号による電界により前記光導波路を伝搬する光を制御する領域のインピーダンスが、電気信号を入力する領域のインピーダンスと異なる場合であっても、インピーダンス不整合による変調器特性の劣化を防止または低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 Zカット基板上に形成された本発明による光変調器を示す図

【図 2】 本発明による光変調器の反射特性を示す図

【図 3】 インピーダンス整合を示す図

【図 4】 電極およびバッファ層を変化させたときのインピーダンス変化を示す図

【図 5】 Xカット基板上に形成された本発明による光変調器を示す図

【図 6】 マッハツェンダ型光変調器を示す図

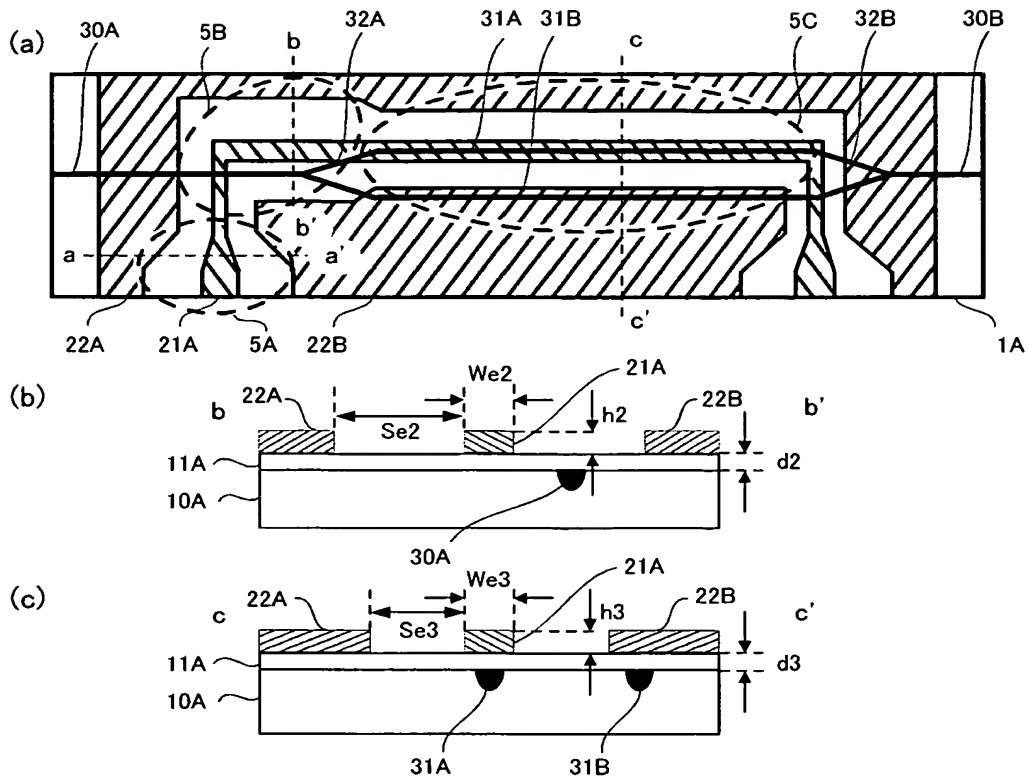
【図 7】 従来技術による光変調器の反射特性を示す図

【符号の説明】

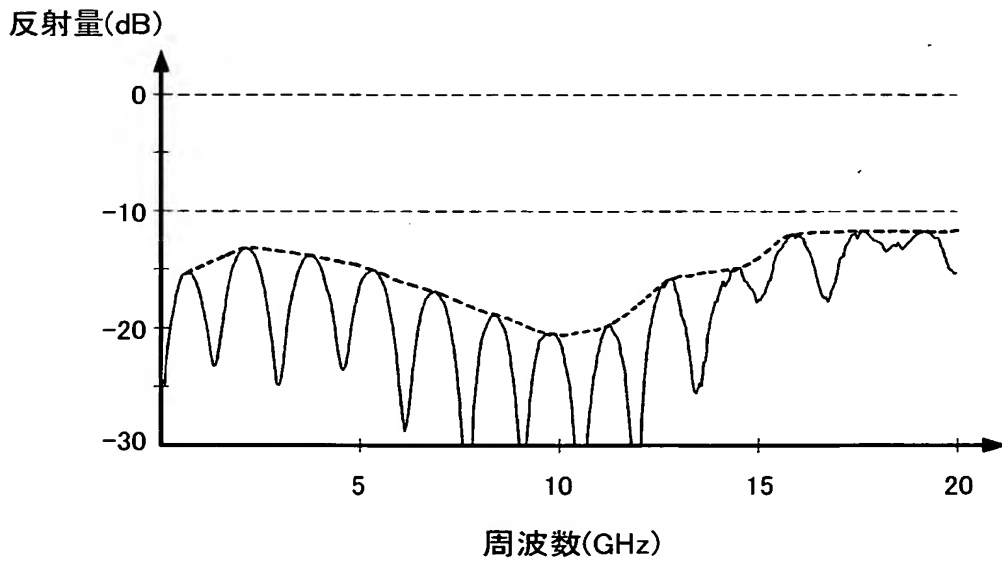
- 1 A ~ 1 B : 本発明による光変調器
- 2 A ~ 2 B : 従来技術による光変調器
- 3 : 信号源
- 4 : 終端抵抗
- 5 A : 入力領域
- 5 B : インピーダンス調整領域
- 5 C : 相互作用領域
- 1 0 A : 基板
- 1 1 A : バッファ層
- 2 1 A : 信号電極
- 2 2 A ~ 2 2 B : 接地電極
- 3 0 A ~ 3 0 B : 光導波路
- 3 1 A ~ 3 1 B : 平行導波路
- 3 2 A ~ 3 2 B : Y分岐導波路

【書類名】 図面

【図 1】

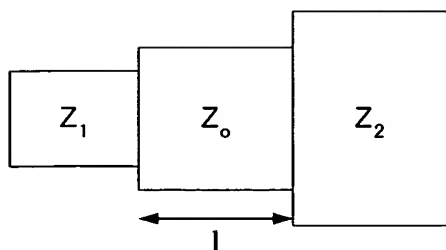


【図 2】

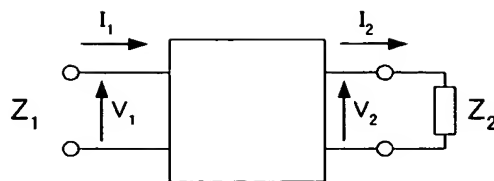


【図 3】

(a)

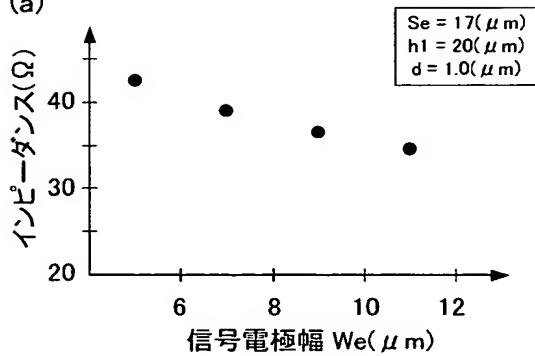


(b)

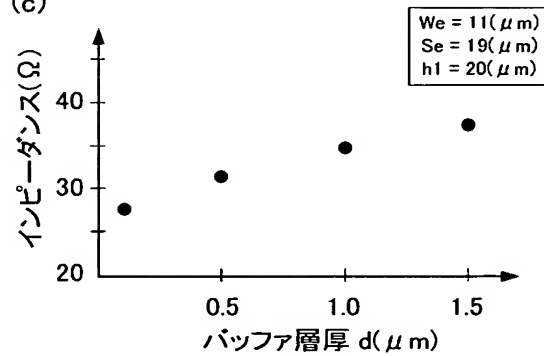


【図 4】

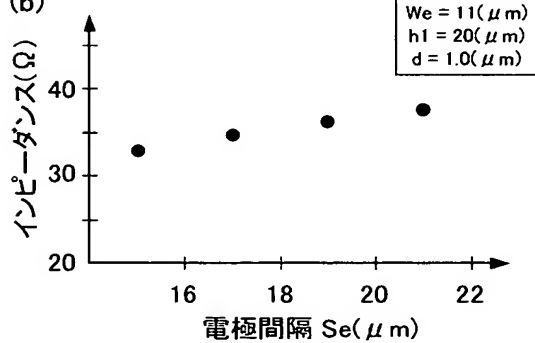
(a)



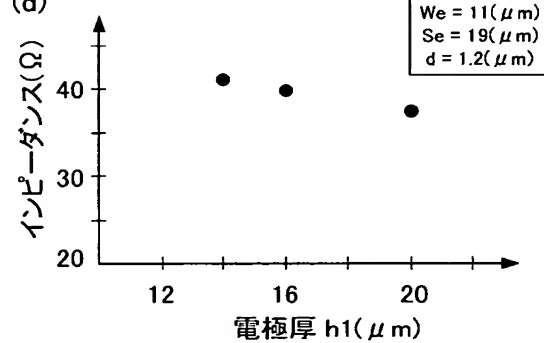
(c)



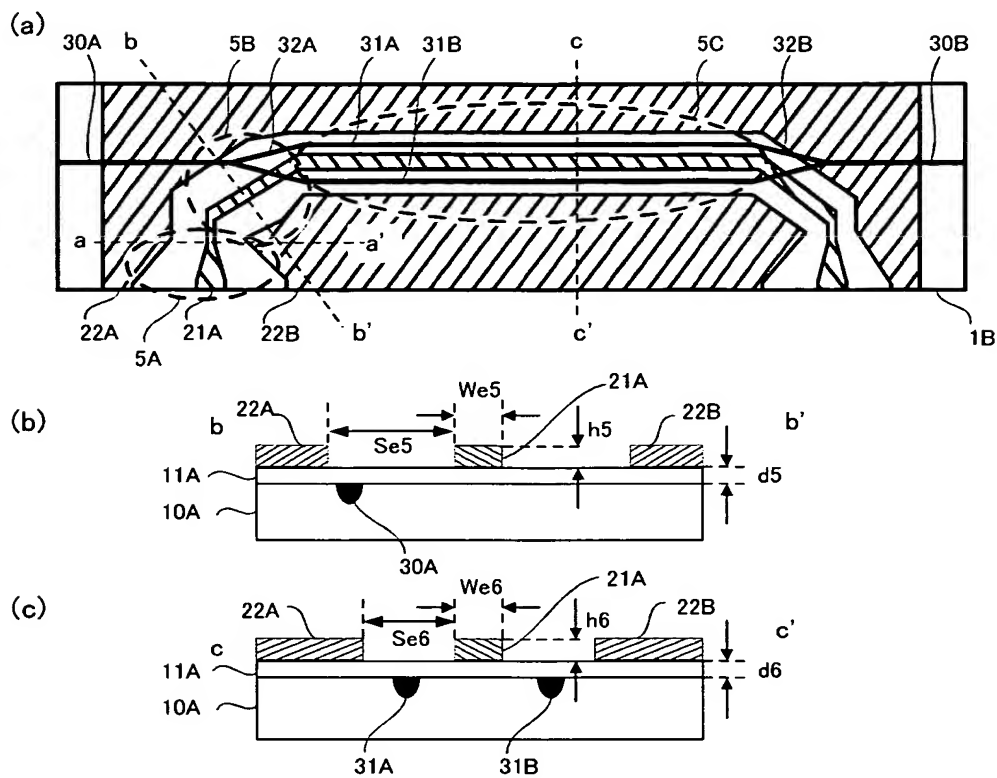
(b)



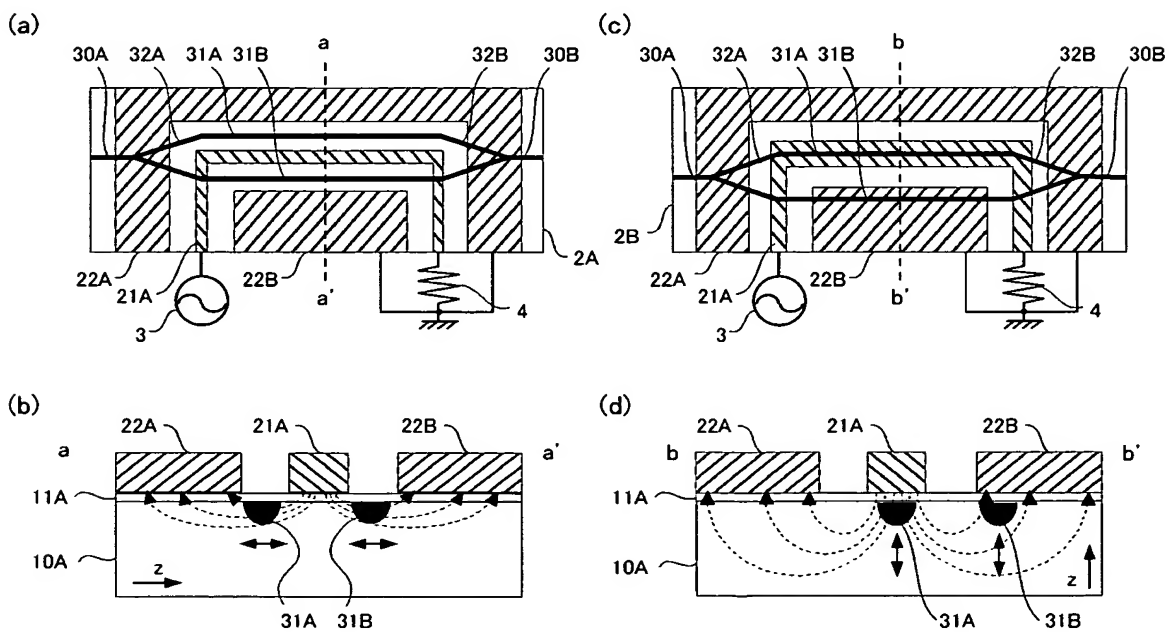
(d)



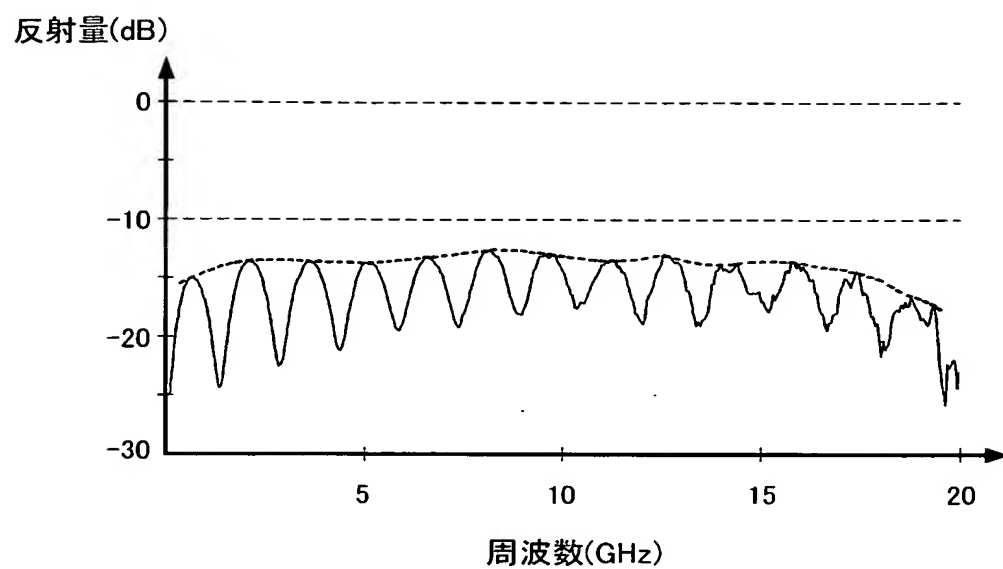
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【書類名】 要約書**【要約】**

【課題】 マッハツェンダ型光変調器において、光導波路を伝搬する光と信号電極を伝搬する高周波信号の速度整合や、駆動電圧の低電圧化のために、電極間隔等を変化させると、相互作用領域のインピーダンスは入力インピーダンスより低くなり、インピーダンス不整合による反射が生ずる。

【解決手段】 入力領域（5 A）と相互作用領域（5 C）との間に、インピーダンス整合領域（5 B）を設け、入力高周波信号が反射しないようにインピーダンスを調整する。信号電極（2 1 A）の幅や、信号電極（2 1 A）と接地電極（2 2 A、2 2 B）の間隔等を変化させることにより、インピーダンスを調整することができる。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 1 9 8 5 5 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 2 2 3]

1 . 変更年月日

1 9 9 6 年 3 月 2 6 日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号

氏 名

富士通株式会社